

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Arus Lalu Lintas

2.1.1 Volume Arus Lalu Lintas

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu segmen/ruas jalan selama waktu tertentu. Volume lalu lintas ini biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan/jam atau kendaraan/hari. Volume dibagi menjadi:

1. Volume Harian (*Daily Volume*)
 - a. *Average Daily Traffic* (ADT), dalam satuan *vehicle per hour* (vph) rata-rata yakni volume yang diukur selama 24 jam penuh dengan periode waktu tertentu dibagi dengan banyaknya hari tersebut.
 - b. *Average Annual Daily Traffic* (AADT), dalam satuan *vehicle per hour* (vph) rata-rata yakni volume yang diukur selama 24 jam dalam kurun waktu 365 hari, dengan demikian merupakan total kendaraan yang terukur dibagi 365 (jumlah hari dalam 1 tahun).

2. Volume jam-an

Suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar disebut sebagai jam puncak. Dasar untuk *design* jalan raya biasanya menggunakan arus pada jam puncak, dengan menggunakan keterkaitan dari proyeksi arus harian sebagai berikut:

$$DDHV = AADT \times K \times D \quad (2.1)$$

Keterangan:

- | | |
|------|---|
| DDHV | = <i>Directional Design Hourly Volume</i> (Arus Jam Rencana Kend/jam) |
| K | = Ratio antara Arus Jam Puncak dengan LHRT (AADT) |
| D | = Koefisien Arah Arus Lalu-Lintas |

3. *Peak Hour Factor* (PHF)

Perbandingan antara Volume Lalu Lintas Per Jam pada saat jam puncak dengan 4 kali *Rate Of Flow* pada saat jam puncak.

$$PHF = \text{Volume Per Jam} / (4 \times \text{Peak Rate Factor Of Flow})$$

Keterangan:

Rate Of Flow = Nilai Equivalen dari volume lalu-lintas per jam, dihitung dari jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu lajur/segmen jalan selama interval waktu kurang dari 1 jam (dalam Penelitian ini diambil 5 menitan).

4. Volume per sub jam (*subhourly volumes*)

Arus yang disurvei dalam periode waktu lebih kecil dari satu jam.

5. Volume Jam Puncak

Banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dari suatu ruas jalan selama satu jam pada saat terjadi arus lalu lintas yang terbesar dalam satu hari.

Pada penelitian ini yang digunakan adalah besaran arus (*flow*) yang lebih spesifik untuk hubungan masing-masing jalan yang ditinjau dengan kerapatan dan kecepatan pada periode waktu tertentu.

2.1.2 Kecepatan Arus Lalu Lintas

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan dihitung dalam jarak per satuan waktu. Dalam pergerakan arus lalu lintas tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Maka dalam arus lalu lintas tidak dikenal karakteristik kecepatan kendaraan tunggal. Jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas. Kecepatan rata-rata dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Time Mean Speed*(TMS), yaitu kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode waktu tertentu.

$$\bar{U}_t = \frac{L}{n} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} \dots \dots \right) \quad (2.2)$$

2. *Space Mean Speed* (SMS), yaitu kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggalan jalan selama periode tertentu.

$$\bar{U}_s = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum t_i} \quad (2.3)$$

Keterangan:

L = Panjang penggal jalan (m)

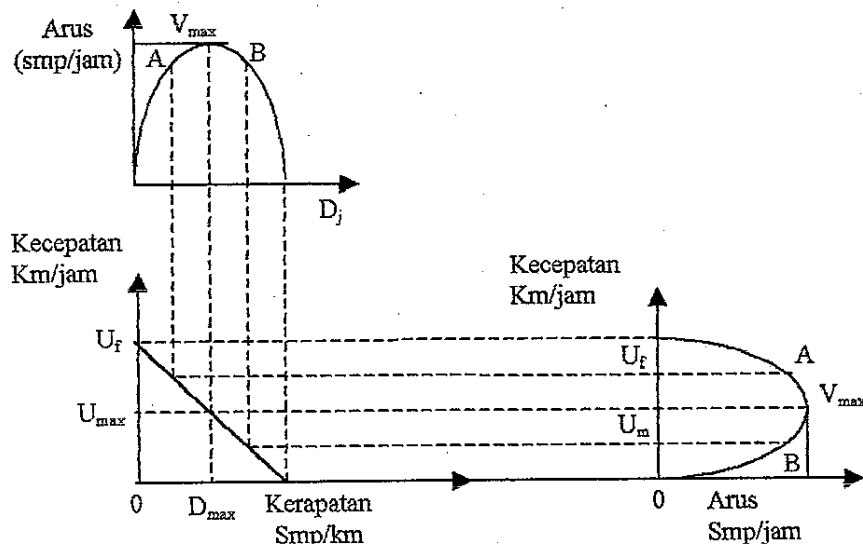
N = Jumlah sampel kendaraan

t_i = waktu tempuh kendaraan

2.1.3 Kepadatan Arus Lalu Lintas

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan atau lajur, secara umum diekspresikan dalam kendaraan per kilometer. Kerapatan sulit diukur secara langsung di lapangan, melainkan dihitung dari nilai kecepatan dan arus.

2.2 Model Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan



Gambar 2.1 Hubungan Antara Arus, Kecepatan, Kepadatan

Hubungan matematis antara Volume-Kecepatan-Kepadatan adalah monoton kebawah yang menyatakan bahwa apabila kepadatan lalu lintas meningkat, maka kecepatan akan menurun.

Arus lalu lintas akan menjadi nol apabila kepadatan sangat tinggi sehingga tidak memungkinkan kendaraan akan bergerak lagi atau dikenal dengan kondisi macet total.

Pada kondisi kepadatan nol, tidak terdapat kendaraan di ruas jalan sehingga arus lalu lintas juga nol. Selain itu, pada kondisi kepadatan nol kendaraan akan bebas memilih kecepatannya sesuai dengan kondisi ruas jalan yang ada atau dikenal dengan kecepatan arus bebas. Ada 4 (empat) jenis model yang dapat digunakan untuk mempresentasikan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut, yaitu:

- Model *Greenshields*
- Model *Greenberg*
- Model *Underwood*
- Model *Bell*

2.2.1 Model *Greenshields*

Greenshields yang melakukan studi pada jalan-jalan diluar Ohio, mengusulkan hubungan *linier* antara kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*) yang terjadi dalam suatu lalu lintas dengan kepadatan kendaraan. Model *Greenshields* merupakan model yang paling sederhana yang mudah untuk diterapkan, yakni dari beberapa penelitian ternyata diperoleh korelasi antara model dan data lapangan. Rumus dasar dari model *Greenshields* adalah sebagai berikut:

$$U_s = U_f - (U_f/D_j)D \quad (2.4)$$

Rumus di atas pada dasarnya merupakan suatu persamaan *linier*,

$Y = a + bx$, dianggap bahwa U_f merupakan konstanta dan $U_f/D_j = b$ sedangkan U_s dan D masing-masing merupakan variabel Y dan X .

Keterangan:

U_s = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

U_f = kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)

D = kerapatan (smp/km)

D_j = kerapatan kondisi *jam* (smp/km)

V = arus lalu lintas (smp/jam)

Diketahui rumus dasar dari hubungan arus, kecepatan, kepadatan, didasarkan pada rumus:

$$V = D \cdot U_s \quad (2.5)$$

$$V = D_j \cdot U_s - (D_j/U_f)U_s^2 \quad (2.6)$$

Demikian pula hubungan antara arus dengan kerapatan dapat diturunkan dengan mensubstitusikan rumus pada persamaan (2.4) ke dalam (2.5), menjadi :

$$V = D \cdot U_s$$

$$V = D \cdot (U_f - (U_f/D_j)D)$$

$$V = U_f \cdot D - (U_f/D_j)D^2 \quad (2.7)$$

Harga arus maksimum dapat dicari dengan menurunkan rumus persamaan (2.7) terhadap kerapatan dan nilai arus maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama tersebut sama dengan 0.

$$V = U_f \cdot D - \left(\frac{U_f}{D_j} \right) D^2$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f - 2 \cdot D_m \cdot \left(\frac{U_f}{D_j} \right)$$

Untuk nilai :

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 0$$

Maka :

$$0 = U_f - 2 \cdot D_m \cdot \left(\frac{U_f}{D_j} \right)$$

$$D_m = \frac{D_j}{2}$$

Nilai D_m disubstitusikan dalam persamaan (2.7) dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , maka:

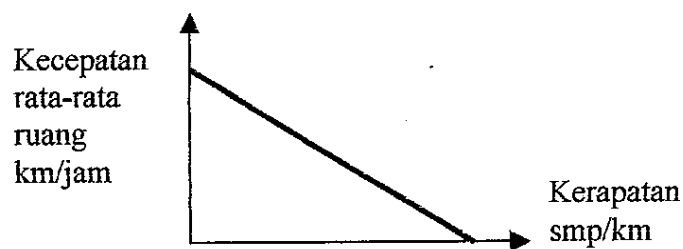
$$V_m = \frac{D_j \cdot U_f}{4} \quad (2.8)$$

Keterangan:

V_m = arus maksimum (km/jam)

D_j = kepadatan kondisi *jam* (smp/km)

U_f = kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)



Gambar 2.2 Hubungan Kecepatan, Kepadatan Model *Greenshields*

2.2.2 Model *Greenberg*

Greenberg mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kepadatan-Kecepatan bukan merupakan fungsi linier melainkan fungsi eksponensial. Pada model *Greenberg* diperlukan pengetahuan tentang parameter-parameter kecepatan optimum dan kerapatan saat kondisi *jam*. Kepadatan kondisi *jam* sangat sulit diamati dilapangan dan estimasi terhadap kecepatan optimum lebih sulit diperkirakan daripada kecepatan bebas rata-rata. Kerugian lain dari model ini adalah kecepatan bebas rata-rata tidak dapat terhitung.

$$\begin{aligned}V_m &= D_m \cdot U_m \\&= D_j/e \cdot U_m \\&= D_j \cdot U_m/e\end{aligned}\tag{2.9}$$

Keterangan :

- V_m = Arus maksimum (km/jam)
- D_m = Kepadatan maksimum (kendaraan/jam)
- U_m = Kecepatan maksimum (km/jam)
- D_j = Kepadatan kondisi *jam* (smp/km)



Gambar 2.3 Hubungan Kecepatan - Kepadatan *Greenberg*

2.2.3 Model *Underwood*

Model kedua adalah yang diusulkan oleh Underwood sebagai hasil dari studi lalu lintas pada jalan raya Merritt di Connecticut. Model ini memerlukan pengetahuan tentang kecepatan rata-rata arus bebas yang dalam hal ini cukup mudah untuk diamati, sedangkan kepadatan optimum sulit untuk diamati dan

sangat tergantung pada lingkungan/fasilitas jalan. Kelemahan lain yaitu kecepatan pada model ini tidak pernah mencapai nilai nol dan kecepatan kondisi *jam* yang tidak menentu. Model hubungan antara kecepatan dan kerapatan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m} \quad (2.10)$$

Lalu dipresentasikan dalam persamaan *linier* $Y = a + bx$ sebagai berikut :

$$\ln U_s = \ln U_f - D/D_m \quad (2.11)$$

Bila persamaan $D = V/U_s$ disubstitusikan ke persamaan (2.11) maka diperoleh hubungan antara arus dan kecepatan sebagai berikut :

$$V = D_m \cdot U_s \cdot (\ln U_f - \ln U_s) \quad (2.12)$$

Sedangkan hubungan antara arus dengan kerapatan adalah sebagai berikut :

$$V_s = U_f \cdot D \cdot e^{-D/D_m} \quad (2.13)$$

Nilai kerapatan pada saat arus maksimum dicari dengan menurunkan persamaan (2.13) terhadap kerapatan (D) dan menyamakan hasil turunan tersebut dengan 0, sehingga diperoleh :

$$V_s = U_f \cdot D \cdot e^{-D/D_m}$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f \cdot e^{-D/D_m} + U_f \cdot D \cdot \frac{-1}{D_m} \cdot (e^{-\frac{D}{D_m}})$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f \cdot e^{-D/D_m} - \frac{D}{D_m} \cdot U_f \cdot (e^{-\frac{D}{D_m}})$$

$$\frac{\partial V}{\partial D} = U_f \cdot e^{-D/D_m} \left(1 - \frac{D}{D_m}\right)$$

Untuk:

$$\frac{\partial V}{\partial D} = 0$$

Maka diperoleh:

$$0 = U_f \cdot e^{-D/D_m} \left(1 - \frac{D}{D_m}\right)$$

$$0 = \left(1 - \frac{D}{D_m}\right)$$

$$D_m = D \quad (2.14)$$

Sedangkan nilai kecepatan pada saat arus maksimum dicari pada saat arus $U_s = U_m$ Nilai $U_s = U_m$ bisa didapat melalui persamaan berikut:

$$\frac{\partial V}{\partial S} = D_M (\ln S_{ff} - \ln S_M) + D_M \cdot S_M \left(-\frac{1}{S_M} \right) = 0 \quad (2.15)$$

$$D_M (\ln S_{ff} - \ln S_M) - D_M = 0$$

$$(\ln S_{ff} - \ln S_M) = 1$$

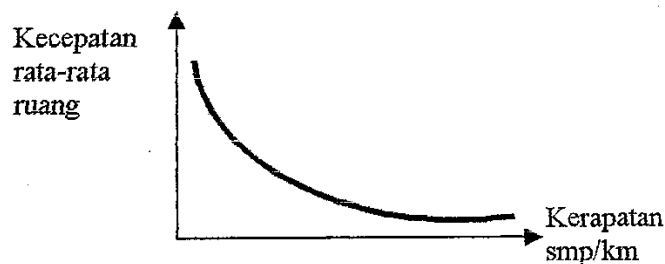
$$S_M = e^{\ln S_{ff} - 1} \quad (2.16)$$

Keterangan:

D_m = Kepadatan maksimum (kendaraan/jam)

U_m = Kecepatan maksimum (km/jam)

S_{ff} = Kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)



Gambar 2.4 Hubungan Kecepatan, Kepadatan Model *Underwood*

2.2.4 Model *Bell*

Bell mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan – Kepadatan bukan merupakan fungsi linier melainkan fungsi eksponensial. Arus maksimum diperoleh sebagai berikut :

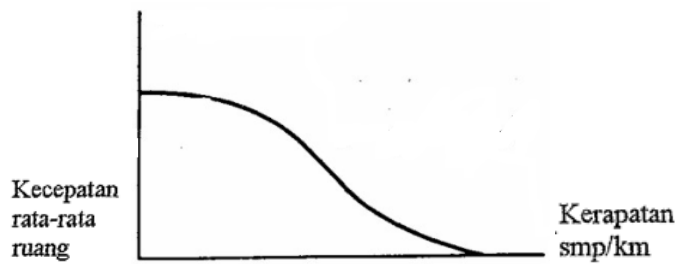
$$V_m = (D_m \cdot U_f) / e^{0.5} \quad (2.17)$$

Keterangan:

V_m = Arus maksimum (km/jam)

D_m = Kepadatan maksimum (kendaraan/jam)

U_f = Kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam)



Gambar 2.5 Hubungan Kecepatan, Kepadatan Model *Bell*

Seperti yang disebutkan di atas terdapat 4 (empat) jenis model yang dapat digunakan untuk mempresentasikan hubungan matematis antara Volume-Kecepatan-Kepadatan, tetapi pada penelitian ini model yang akan digunakan adalah Model *Greenshields* dan Model *Underwood*.

2.3 Penyempitan Jalan

Penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kapasitas arus lalu lintas yang lebih kecil daripada kondisi bagian jalan sebelumnya. Kondisi jalan seperti ini dapat terjadi misalnya pada saat memasuki jembatan, terjadinya suatu kecelakaan yang menyebabkan sebagian jalan ditutup, pada saat terjadi perbaikan jalan atau kondisi lainnya. Pada penelitian ini penyempitan jalan terjadi pada jalan yang sebelumnya bermedian lalu memasuki jalan tanpa median dengan lajur yang berkurang. Penyempitan jalan menyebabkan terjadinya perubahan perjalanan kendaraan dari arus bebas (*uninterrupted flow*) menjadi terganggu (*interrupted flow*) sehingga terjadi penurunan kecepatan, dan bertambahnya kepadatan antar kendaraan. Kendaraan yang memasuki daerah penyempitan jalan dipaksa untuk mengurangi kecepatan dan karena daya tampung jalan pada daerah penyempitan ini lebih kecil daripada daerah sebelumnya maka kendaraan akan memblok daerah penyempitan itu sampai panjang tertentu ke arah datangnya kendaraan. Pengaruh penyempitan jalan ini tidak berarti sama sekali apabila arus lalu-lintas (*demand*) lebih kecil dari pada daya tampung atau kapasitas jalan (*supply*) pada daerah penyempitan sehingga arus lalu-lintas dapat terlewatkan dengan mudah tanpa ada hambatan.

2.4 Faktor Konversi Kendaraan

Kendaraan yang melewati jalan raya sangatlah bervariasi dalam hal model, ukuran atau dimensi, maupun beratnya. Keanekaragaman kendaraan dengan masing-masing memiliki karakteristik tersendiri, akan membentuk suatu perilaku yang berbeda-beda dalam arus lalu lintas berjalan. Perlu diadakan suatu nilai konversi terhadap lalu lintas maupun terhadap kebutuhan *design* berbagai macam kendaraan tersebut untuk memudahkan dalam perhitungannya.

Aturan terhadap konversi kendaraan yang tertuang dalam buku *Indonesian Highway Capacity Manual 1997* (IHCM 1997). Dari jumlah kendaraan yang ada, yang kemungkinan terdapat di jalan perkotaan dapat dikelompokkan ke dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2, masing-masing dikonversikan ke dalam Satuan Mobil Penumpang (smp).

Tabel 2.1 Ekuivalensi Mobil Penumpang Untuk Jalan Perkotaan Tak-terbagi

Tipe jalan: Jalan tak terbagi	Arus lalu-lintas total dua arah (kend/jam)	emp		
		HV	MC	
			Lebar jalur lalu-lintas $W_C(m)$	
			≤ 6	> 6
Dua-lajur tak-terbagi (2/2 UD)	0	1,3	0,5	0,40
	≥ 1800	1,2	0,35	0,25
Empat-lajur tak-terbagi (4/2 UD)	0	1,3	0,40	
	≥ 3700	1,2	0,25	

Sumber : IHCM,1997

Tabel 2.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah

Tipe jalan: Jalan satu arah dan jalan terbagi	Arus lalu-lintas per lajur (kend/jam)	emp	
		HV	MC
Dua-lajur satu-arah (2/1) dan Empat-lajur terbagi (4/2D)	0	1,3	0,40
	≥ 1050	1,2	0,25
Tiga-lajur satu-arah (3/1) dan Enam-lajur terbagi (6/2D)	0	1,3	0,40
	≥ 1100	1,2	0,25

Sumber : IHCM,1997

Derajat atau tingkat hubungan antara dua variabel diukur dengan indeks korelasi, yang disebut sebagai koefisien korelasi dan ditulis dengan simbol r . Apabila nilai koefisien korelasi tersebut dikuadratkan (r^2), maka disebut sebagai koefisien *determinasi* yang berfungsi untuk melihat sejauh mana ketepatan *regresi*.

Nilai koefisien korelasi dapat dihitung dengan memakai rumus :

$$r = \frac{n \sum X_1 Y_1 - (\sum X_1) (\sum Y_1)}{\sqrt{(n(\sum X_1^2) - (\sum X_1)^2) (n(\sum Y_1^2) - (\sum Y_1)^2)}} \quad (2.18)$$

Nilai koefisien korelasi r berkisar dari -1 sampai dengan 1. Nilai negatif menunjukkan suatu korelasi negatif sedangkan nilai positif menunjukkan suatu korelasi positif. Nilai nol menunjukkan bahwa tidak terjadi korelasi antara satu variabel dengan variabel lainnya.

2.5 Hambatan Samping

Hambatan samping adalah dampak terhadap kinerja lalu lintas yang berasal dari aktivitas samping segmen jalan. Hambatan samping yang umumnya sangat mempengaruhi kapasitas jalan adalah pejalan kaki, kendaraan umum/kendaraan lain berhenti, kendaraan masuk/keluar sisi jalan, kendaraan lambat. Jenis aktivitas samping jalan dan kelas hambatan samping dapat dilihat pada tabel 2.3, 2.4.

Tabel 2.3 Jenis Aktivitas Samping Jalan

Jenis Aktivitas Samping Jalan	Simbol	Faktor Bobot
Pejalan kaki	PED	0.5
kendaraan umum/kendaraan lain berhenti	PSV	1.0
kendaraan masuk/keluar sisi jalan	EEV	0.7
kendaraan lambat	SMV	0.4

Sumber: IHCM, 1997

Tabel 2.4 Kelas Hambatan Samping

Kelas Hambatan Samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot kejadian per 200 m per jam (dua sisi)	Kondisi khusus
Sangat rendah	VL	< 100	Daerah permukiman; jalan samping tersedia.
Rendah	L	100 - 299	Daerah permukiman; beberapa angkutan umum dsb.
Sedang	M	300 - 499	Daerah industri; beberapa toko sisi jalan.
Tinggi	H	500 - 899	Daerah komersial; aktivitas sisi jalan tinggi.
Sangat tinggi	VH	> 900	Daerah komersial; aktivitas pasar sisi jalan.

Sumber: IHCM, 1997

2.6 Kondisi Geometrik Jalan

Geometrik merupakan membangun badan jalan raya diatas permukaan tanah baik secara vertikal maupun horizontal dengan asumsi bahwa badan/ bentuk permukaan bumi adalah tidak rata. Tujuannya adalah menciptakan hubungan yang baik antara waktu dan ruang menurut kebutuhan kendaraan yang bersangkutan, menghasilkan bagian-bagian jalan yang memenuhi persyaratan kenyamanan, keamanan, serta nilai efisiensi yang optimal. Dalam membangun jalan raya itu dipengaruhi oleh topografi, sosial, ekonomi dan masyarakatnya.

Kondisi geometrik jalan akan mempengaruhi kinerja jalan tersebut dalam melayani lalu lintas yang ada. Pengaruh yang diakibatkan oleh kondisi geometrik

jalan berupa faktor-faktor penyesuaian terhadap kecepatan arus bebas dan kapasitas segmen jalan yang ditinjau. Adapun kondisi jalan tersebut meliputi:

1. **Tipe jalan**, pengelompokan jalan berdasarkan fungsi jalan, berdasarkan administrasi pemerintahan dan berdasarkan muatan sumbu yang menyangkut dimensi dan berat kendaraan. Penentuan klasifikasi jalan terkait dengan besarnya volume lalu lintas yang menggunakan jalan tersebut, besarnya kapasitas jalan, keekonomian dari jalan tersebut serta pembiayaan pembangunan dan perawatan jalan. Berbagai tipe jalan akan memberikan kinerja yang berbeda pada pembebanan lalu lintas. IHCM, 1997 membahas tentang keterangan-keterangan tentang beberapa kondisi dasar dari suatu tipe jalan.
2. **Lebar lajur lalu lintas**, bagian jalan digunakan kendaraan untuk bergerak yang sangat mempengaruhi kecepatan arus bebas dan kapasitas dari jalan yang ditinjau. Lebar satu lajur yang dijadikan acuan adalah 3,5 meter, sehingga bila dilewati oleh kendaraan dengan lebar maksimum 2,5 meter masih ada ruang bebas sebesar 0,5 meter di kiri kanan kendaraan. Lajur yang sebelah kiri diperuntukkan untuk kendaraan yang berjalan dengan kecepatan rendah dan yang sebelah kanannya untuk kendaraan yang berjalan dengan kecepatan lebih tinggi, atau di jalan tol antar kota yang memiliki dua lajur, lajur kanan hanya diperuntukkan untuk kendaraan yang menyalib. Beberapa istilah lajur adalah sebagai berikut :
 - **Lajur tunggu** adalah lajur khusus sebelum bukaan separator yang berfungsi sebagai tempat kendaraan menunggu sebelum melakukan perpindahan jalur.
 - **Lajur percepatan** adalah lajur khusus setelah bukaan separator yang berfungsi untuk menyesuaikan kecepatan kendaraan pada saat bergabung dengan lajur cepat atau lambat.
 - **Lajur perlambatan** adalah lajur untuk memperlambat kendaraan sebelum membelok ke kiri atau membelok ke kanan,

biasanya diterapkan pada jalan dengan kecepatan rencana yang tinggi.

- **Taper** adalah bagian dari lajur jalan yang menyerong yang berfungsi untuk mengarahkan lalu lintas pindah lajur.
 - **Lajur Khusus Bus** adalah lajur yang secara khusus dipergunakan oleh bus baik secara paruh waktu maupun penuh waktu yang dilengkapi dengan marka jalan lambang.
3. **Lebar dan kendaraan dari kerb, bahu, dan median**, kerb merupakan batas antara jalur lalu lintas dan trotoar yang berpengaruh terhadap hambatan samping pada kecepatan arus bebas dan kapasitas.
 4. **Alinyement jalan**, konfigurasi dari alinyement jalan yang ada sangat erat hubungannya dengan kecepatan kendaraan. Alinyement dibagi menjadi dua bagian yaitu :
 - Alinyement horizontal yaitu garis proyeksi sumbu jalan yang diasumsikan tegak lurus atau sejajar dengan bidang gambar.
 - Alinyement vertikal yaitu seakan-akan jalan itu naik dan turun atau tegak lurus bidang gambar.